



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 199 56 842.1

Anmeldetag: 26. November 1999

Anmelder/Inhaber: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Magdeburg/DE

Bezeichnung: Verfahren und Einrichtung zur digitalen Fehler-
erkennung und mindestens teilweisen Fehlerkor-
rektur für ein Bildwiedergabesystem

IPC: G 06 T 1/40

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 20. November 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Waasmaier

Beschreibung

Verfahren und Einrichtung zur digitalen Fehlererkennung und mindestens teilweisen Fehlerkorrektur für ein Bildwiedergabesystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur digitalen Fehlererkennung und mindestens teilweisen Fehlerkorrektur für ein Bildwiedergabesystem. Die Erfindung ist besonders geeignet für die Korrektur der Bildwiedergabe auf einem Bild- bzw.

Projektionsschirm, wie sie z. B. bei Fernsehern, Monitoren, Displays oder Projektoren auf Basis von z. B. Röhren-, Plasma-, LCD- oder Mikrospiegel-Technik erfolgt, aber in angepaßter Form auch einsetzbar in der Röntgenbildtechnik sowie für digitale Kopierer, Scanner, Bildwandler u. dgl.

Das Verfahren korrigiert typische Fehler, die bei der Bildwiedergabe auftreten, hervorgerufen durch Unschärfen, Verzerrungen und eine ungleichmäßige Ausleuchtung sowie Farb- und Konvergenzfehler. Dadurch werden die Anforderungen an die exakte Justage der mechanischen, optischen und elektronischen Teile wie Strahlenkanonen, LCD-Paneele und Projektionsobjektive minimiert. Aber auch Unzulänglichkeiten des Projektions- bzw. Bildschirms sowie Verzerrungen durch Schrägprojektion (Keystone-Verzerrung) können korrigiert werden.

Das Anwendungsgebiet der Erfindung ist jedoch nicht ausschließlich auf die Fehlerkorrektur beschränkt, d. h. auf die Verringerung bzw. Beseitigung unerwünschter Änderungen der Bilddaten, die durch ein reales Bildwiedergabesystem im Vergleich zu einem idealen System verursacht werden. Grundsätzlich ist die Erfindung auch in Verbindung mit solchen Systemen einsetzbar, in denen die zur Visualisierung bzw. Wiedergabe vorgesehenen Bilddaten vor ihrer Eingabe in das Bildwiedergabesystem einer Transformationen unterzogen werden sollen, die durch Vorgabe des Ergebnisses der Transformation von Ausgangsbilddaten in transformierte Bilddaten, z. B. anhand von Musterbildern definierbar ist.

Die Bezeichnung "Bildwiedergabesystem" soll daher nachfolgend als Sammelbegriff für diese Systeme verwendet werden. Ferner sollen unter "digitalen" bzw. "digitalisierten" Bilddaten oder "digitalen Testbilddaten" nicht nur bereits primär vorliegende digitale Bilddaten verstanden

werden, sondern auch solche, die mittels Digitalisierung von primär analogen Bilddaten erzeugt wurden.

Es ist bereits ein Video-Projektionsgerät bekannt (z. B. US5231481), das eine auf der Basis einer negativen Rückkopplung arbeitende Korrektureinrichtung aufweist, mit der Fehler des projizierten Bildes korrigierbar sind, die z. B. durch optische oder elektrische Komponenten des Projektionsgerätes bedingt sind. Die Rückkopplung erfolgt über eine Kamera, die eine Aufnahme eines mittels des Video-Projektionsgerätes projizierten Testbildes erzeugt. Die von der Videokamera aufgenommenen und gespeicherten Bilddaten des projizierten Testbildes werden mit den Bilddaten des zu projizierenden ursprünglichen Testbildes, das als fehlerfrei gilt, verglichen, um Korrektursignale zu berechnen und zu speichern. Mit diesen Korrektursignalen werden die Steuereinheiten des Projektionsgerätes angesteuert, um die Qualität des projizierten Bildes zu verbessern.

Ein anderes Verfahren (US5475447) betrifft die automatische Konvergenz- und Verzeichnungs-Korrektur eines von einem Videoprojektor auf eine von einem Rechteck eingerahmte Projektionsfläche projizierten Bildes. Es basiert auf einem Videoprojektor, der von einem Video-Signalgenerator angesteuert wird. Eine Kamera bildet die Projektionsfläche ab und erzeugt mittels eines Signalprozessors ein Videosignal, das in einem Bildspeicher gespeichert wird. Eine Rechneinheit berechnet die Koordinaten der vier Eckpunkte der rechteckigen Projektionsfläche und ermittelt daraus die Position von Referenzpunkten innerhalb der Projektionsfläche. Ein Signalgenerator erzeugt ein Video-Signal mit Marken an Positionen, die den von der Rechneinheit berechneten Positionen der Referenzpunkte entsprechen. Dieses Video-Signal steuert den Videoprojektor an, der ein Bild mit den Marken projiziert. Dieses Bild mit den Marken wird mittels der digitalen Kamera in einem Bildspeicher gespeichert. Aus der Abweichung zwischen den Positionen der im Bildspeicher gespeicherten Referenzpunkte und den Positionen der gespeicherten Marken wird ein Korrektursignal für die automatische Konvergenz- und Verzeichnungs-Korrektur des Videoprojektors abgeleitet.

Das Video-Projektionsgerät gemäß (US5091773) weist ebenfalls eine auf der Basis einer negativen Rückkopplung arbeitende Korrektureinrichtung auf, um Fehler des projizierten Bildes zu korrigieren, die z. B. durch das optische System bedingt sind. Zu diesem Zweck wird ein Testbild, das aus im Raster angeordneten hellen Bildpunkten besteht, mittels des Projektionsgerätes auf eine Projektionsfläche abgebildet. Dieses auf der Projektionsfläche

erzeugte Bild wird auf eine im wesentlichen opaque Filtermaske abgebildet, die nur an den Punkten transparent ist, in denen die Abbildung eines fehlerfrei projizierten Testbildes helle Bildpunkte aufweist. Aus dem Meßwert für die von der die Filtermaske hindurchgelassene Lichtintensität werden Korrektursignale ermittelt, mit denen das Video-Projektionsgerät angesteuert wird.

Den benannten Verfahren ist gemeinsam, daß aus dem von einer digitalen Kamera gespeicherten Testbild ein Korrektursignal zur Verbesserung der Bildqualität des projizierten Bildes berechnet wird, das den Bildgenerator des Projektionssystems ansteuert und dadurch z. B. Verzeichnungs- oder Konvergenzfehler kompensiert.

Die Berechnung der Korrekturwerte ist aufwendig und nur für die jeweils analysierten Bildpunkt-Orte gültig. Daher muß bei den Verfahren eine Interpolation für die dazwischen liegenden Positionen erfolgen, was aufwendig ist und nur eine Näherung darstellt. Es werden auch nur einzelne Fehler - hauptsächlich die Bildgeometrie - korrigiert, weitere Fehler wie die im Anspruch beschriebenen bleiben unberücksichtigt. Bei den beschriebenen Verfahren muß zum Teil in die Ansteuerelektronik oder Mechanik bzw. Optik eingegriffen werden. Teilweise müssen auch Bild- bzw. Projektionsschirm verändert werden. Nachteilig ist auch, daß dies Berechnung der Korrekturwerte bei jeder Wiederholung der Wiedergabe und für jedes benutzte Bildwiedergabesystem erneut vorgenommen werden muß.

Dies erscheint in den Fällen besonders nachteilig, in denen ein Anwender mehrere gleichartige Bildwiedergabesysteme benutzt, von denen bekannt ist, daß sie im wesentlichen die gleichen Abbildungsfehler besitzen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine zugehörige Einrichtung zu entwickeln, bei dem kein Eingriff in Elektronik, Mechanik oder Optik erforderlich ist, sondern ausschließlich die zu projizierenden Daten modifiziert werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie eine Einrichtung gemäß Anspruch 8 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung und deren Vorteile ergeben sich unmittelbar aus den Unteransprüchen sowie den folgenden Angaben.

Der Grundgedanke des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß ein neuronales Netz als ortsabhängig arbeitendes Digitalfilter zur Vorkorrektur verwendet wird, wobei unter der Voraussetzung eines linearen Aussteuerungsverhaltens der Bildelemente ein einschichtiges neuronales Netz zum Einsatz kommt. Das neuronale Netz kann programmtechnisch auf einem Standardrechner oder als eine Schaltungsanordnung implementiert sein.

Als Lernmuster für das neuronale Netz dient das digitalisierte Bild einer vom Bildwiedergabesystem erzeugten unkorrigierten Abbildung des Testbildes, während die digital vorliegenden Bilddaten des Testbildes direkt die Lernvorgabe für den Anlernvorgang definieren. Nach dem Lernvorgang werden die Eingänge des neuronalen Netzes durch das wiederzugebende Bild gebildet, und die Ausgänge bilden direkt die Pixeleingangswerte des Bildwiedergabesystems, die dann durch ein vorkorrigiertes Bild angesteuert wird. Auf diese Weise werden die Fehler von Bilderzeugung, Optik und Projektion für beliebige wiederzugebende Bilder von vornherein berücksichtigt und korrigiert, so daß die kompensierten Fehler auf dem Projektions- bzw. Bildschirm nicht mehr auftreten.

Der besondere Vorteil der Erfindung besteht demnach darin, daß kein Eingriff in Ablenkung und Intensitätsmodulation des Bildwiedergabesystems erfolgen muß oder Veränderungen am Bild- bzw. Projektionsschirm vorgenommen werden müssen.

Das System berücksichtigt mehrere Arten von Abbildungsfehlern gleichzeitig. Dabei handelt es sich um Bildverzerrungen und Unschärfen, die durch geometrische Verzeichnungen bzw. Defokussierung der Optik, durch Schiefprojektion (Keystone-Verzerrung) sowie durch Krümmungen der Projektionswand hervorgerufen werden. Auch eine ungleichmäßige Helligkeitsverteilung, die durch variierende Reflexionseigenschaften der Projektionswand und die Optik bzw. Lichterzeugung hervorgerufen werden, werden korrigiert. Bei der Farbbildprojektion werden Farbfehler, die an Farbübergängen auftreten (Farbsäume), korrigiert. Ein spezielles Verfahren sorgt dafür, daß die Farbbalance des Projektors für Flächen konstanter Farbe erhalten bleibt. Eine fehlerhafte Ausrichtung der Farbkanäle wird ebenfalls ausgeglichen (Konvergenzkorrektur).

Anwendungsbereiche liegen vor allem bei Anzeigeeinrichtungen zur Auf- und Rückprojektion mit Daten- und Videoprojektoren, bei Auflagedisplays für Overheadprojektoren sowie in der Fernseh- und Monitordisplaytechnik. Die Erfindung kann entweder zur Einrichtung von

Systemen am Ort der Anwendung benutzt werden oder zum Abgleich in der Endfertigung von Geräten. Die Erfindung ist auch für Systeme zur Projektion von Stereobildern geeignet. Die erfindungsgemäße Lösung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. In der zugehörigen Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Anlernvorganges gemäß der Erfindung,

Fig. 3 eine schematische Darstellung des Korrekturvorganges gemäß der Erfindung,

Fig. 4 die prinzipielle Struktur des künstlichen neuronalen Netzes zur Vorkorrektur (a) und flächige Verknüpfung an einem einzelnen Neuron (b), Realisierung mit den Grundfarben RGB (c),

Fig. 5 ein typisches Testbild zur Lerndatengewinnung.

Die wiederzugebenden Bilder (Fig. 1) befinden sich in digitaler Form in einem Rechner, an den ein Bildwiedergabegerät geschaltet ist. Dadurch können die Bilder wie üblich auf einem Bildschirm bzw. einer Projektionsfläche sichtbar gemacht werden.

Das Verfahren verläuft in zwei Phasen - dem Lernvorgang (Abgleich) und dem laufenden Betrieb. Dabei wird zum Abgleich der Korrektur (Fig. 2) ein Bildaufzeichnungsgerät (z. B. eine elektronische Kamera) benutzt, um ein wiedergegebenes Testbild aufzunehmen, das wieder in den Rechner eingelesen wird. Um zusätzliche Fehler zu vermeiden, muß das Bildaufzeichnungsgerät eine höhere Bildqualität besitzen als die zu korrigierende Bildwiedergabe, oder störende Abbildungseigenschaften des Bildaufzeichnungsgeräts werden vor der weiteren Auswertung kompensiert.

Fig. 4 zeigt in vereinfachter schematischer Darstellung das künstliche neuronale Netz als ortsabhängig arbeitendes Digitalfilter, wie es für die Korrektur verwendet wird. Unter der Voraussetzung eines linearen Gesamtsystems kommt eine einschichtige neuronale Netz nach Fig. 4a zum Einsatz (vereinfachend eindimensional und nur für einen Farbkanal dargestellt). Die Eingänge x_j sind beim Anlernvorgang die Pixelwerte des aufgenommenen Bildes, die über die Gewichte w_{ij} mit einander verknüpft werden. Im tatsächlichen zweidimensionalen Fall sind die

Neuronen gleichfalls flächig mit den benachbarten verknüpft und nicht nur in einer Zeile, wie Fig. 4b am Beispiel eines Neurons zeigt. Bei N Farbkanälen sind N^2 neuronale Netze nach Fig. 4b erforderlich für eine umfassende Berücksichtigung der Fehler. Fig. 4c zeigt ein Beispiel für ein System mit den Grundfarben RGB. Jeder korrigierte Farbkanal R', G', B' ergibt sich demnach aus der Summe der Ausgänge der neuronalen Netze $RR, RG, RB, BR, BB, BG, BR, BG, BB$, die jeweils mit den Kanälen R, G und B gespeist werden. Der Abgleich des Systems zur Korrektur erfolgt durch das Anlernen des künstlichen neuronalen Netzes mittels eines Rechners. Das aufgenommene Testbild, das die zu korrigierenden Fehler enthält, wird digital als Lernmuster abgespeichert und dient zur Lerndatengewinnung für das künstliche neuronale Netz. Da das Testbild fehlerfrei im Rechner vorliegt, definiert es direkt die Lernvorgabe für den Anlernvorgang.

Das Testbild kann einen relativ einfachen Aufbau haben (Fig. 5). Das künstliche neuronale Netz leitet durch Auswertung der Lerndaten im Zusammenhang mit der Lernvorgabe die erforderlichen Parameter des neuronalen Netzes für die Korrektur ab, indem durch Vergleich der Ausgänge des neuronalen Netzes y_j mit der Lernvorgabe die Gewichte des neuronalen Netzes w_{ij} bestimmt werden. Anders als bei US5091773 gestattet der Anlernvorgang eine örtlich gleitende Ermittlung von Korrekturwerten, so daß keine Interpolation erforderlich ist. Nach dem Lernvorgang werden die Eingänge des neuronalen Netzes durch das wiederzugebende Bild gebildet, und die Ausgänge bilden direkt die Pixeleingangswerte der Bildwiedergabeeinrichtung, die dann durch ein vorkorrigiertes Bild angesteuert wird. Die Umsetzung des einmal abgeglichenen Korrektursystems kann programmtechnisch auf einem Standardrechner oder durch eine spezielle Hardwarelösung erfolgen. Im Unterschied zu EP934653 muß auf diese Weise kein Eingriff in Ablenkung und Intensitätsmodulation der Bilderzeugungseinrichtung erfolgen.

Im laufenden Betrieb (Fig. 3) werden beliebige Bilder so vorkorrigiert erzeugt, daß die kompensierten Fehler auf dem Projektions- bzw. Bildschirm dann nicht mehr auftreten. Das System zur Vorkorrektur wird so in den Signalflußweg integriert, daß die Fehler von Bilderzeugung, Optik und Projektion von vornherein berücksichtigt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur digitalen Fehlererkennung und mindestens teilweisen Fehlerkorrektur für ein Bildwiedergabesystem, bei dem die wiederzugebenden digitalen Bilddaten auf den Eingang eines neuronalen Netzes, das auf einem Rechner oder als Schaltung implementiert ist, gegeben werden, wobei die Korrektur durch ein neuronales Netz erfolgt, dessen Parameter in einem vorhergehenden Lernvorgang ermittelt wurden, bei dem zur Erzeugung der Lernvorgabe (Target Data) ein Testbild mit vorgegebbarer Bildqualität dient, und die Ausgangswerte des neuronalen Netzes die Eingabewerte des Bildwiedergabesystems bilden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Lerndaten für den Lernvorgang des neuronalen Netzes das digitalisierte Bild von einer vom Bildwiedergabesystem bewirkten unkorrigierten Abbildung des Testbildes erzeugt und diese Lerndaten auf den Eingang des neuronalen Netzes gegeben werden, wobei für die Erzeugung der Lernvorgabe die originalen, vom Bildwiedergabesystem wiederzugebenden digitalen Testbilddaten verwendet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Parameter des neuronalen Netzes Werte benutzt werden, die für ein anderes Bildwiedergabesystem ermittelt wurden, dessen Abbildungsqualität im wesentlichen übereinstimmt mit der Abbildungsqualität des zu korrigierenden Bildwiedergabesystems.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein einschichtiges neuronales Netz mit linearer Transferfunktion verwendet wird und damit eine Funktion der Korrektur bei beliebigen Helligkeiten gewährleistet ist, Linearität der Empfindlichkeit der Bildelemente vorausgesetzt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden der N zu korrigierenden Farbkanäle des Bildwiedergabesystems N unabhängige neuronale Netze verwendet werden, deren Ausgänge addiert werden und die korrigierten Farbkanäle darstellen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die originalen digitalen Testbilddaten ein Karomuster darstellen.

7. Verfahren zur digitalen Fehlererkennung und Fehlerkorrektur für ein Bildwiedergabesystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während des Lernvorganges eine Fehlerkorrektur für geometrische Bildfehler, Konvergenz-, Fokussierungs- und Helligkeitsfehler im Zusammenhang trainiert wird.

8. Einrichtung zur digitalen Fehlererkennung und Fehlerkorrektur für ein Bildwiedergabesystem, mit

- einem auf einem Rechner oder als Schaltung implementierten neuronalen Netz, dessen Ausgänge auf die Eingänge des zu korrigierenden Bildwiedergabesystems geschaltet sind und dessen Parameter in einem vorhergehenden Lernvorgang ermittelt wurden, wobei als Lernvorgabe ein Testbild mit vorgebbarer Bildqualität dient,
- einem Bildspeicher für die mittels des Bildwiedergabesystems wiederzugebenden digitalen Bilddaten, der mit den Eingängen des neuronalen Netzes verbunden ist,
- einem Bildaufzeichnungsgerät, das mindestens zur einmaligen Generierung digitalisierter Bilddaten einer vom Bildwiedergabesystem erzeugten unkorrigierten Abbildung des Testbildes verfügbar ist und mindestens für die zur Bestimmung der Parameter des neuronalen Netzes zur Korrektur nötige Dauer des Lernvorganges direkt oder über mindestens einen Bildspeicher mit dem Eingang des neuronalen Netzes verbunden ist.

9. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildaufzeichnungsgerät eine Abbildungsqualität, gegebenenfalls nach entsprechender Fehlerkorrektur, aufweist, welche die Abbildungsqualität des Bildwiedergabesystems zumindest bezüglich der zu korrigierenden Fehlerarten des Bildwiedergabesystems übertrifft.

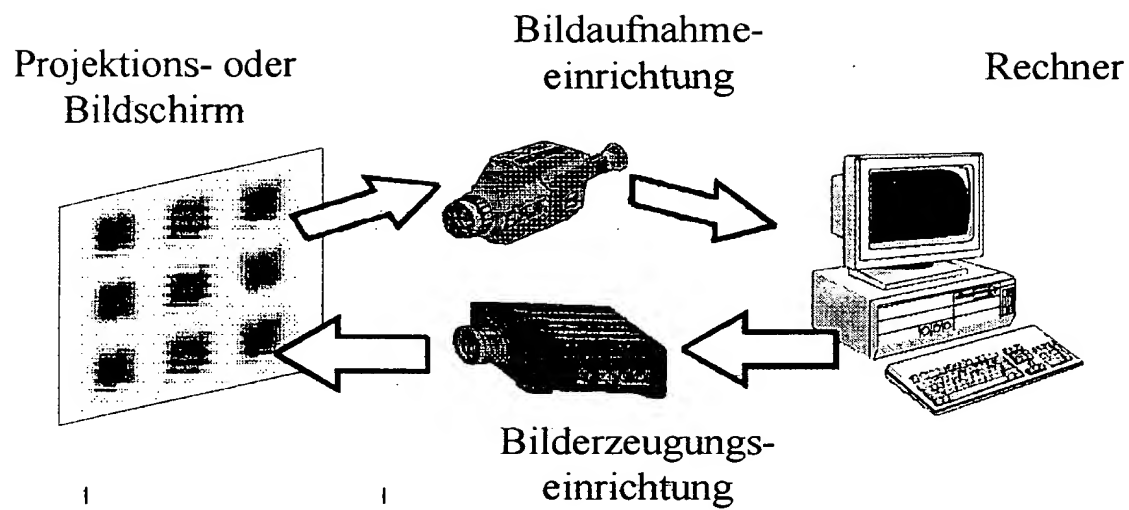


Fig. 1

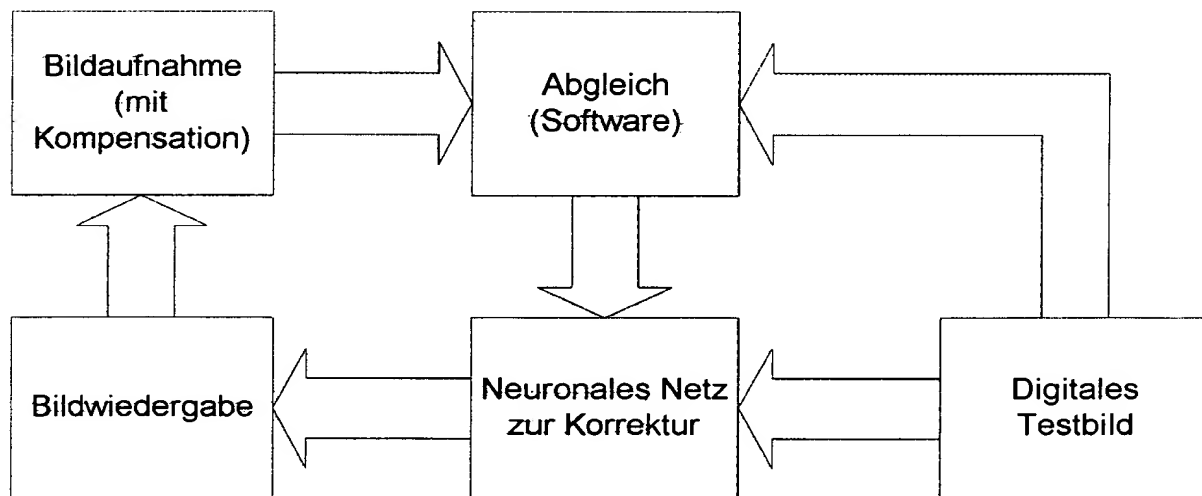


Fig. 2

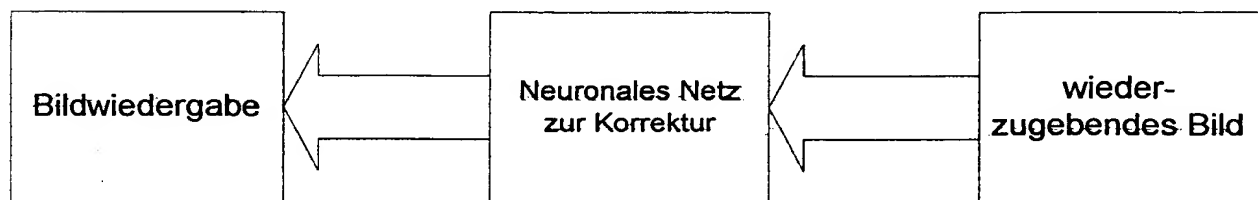


Fig. 3

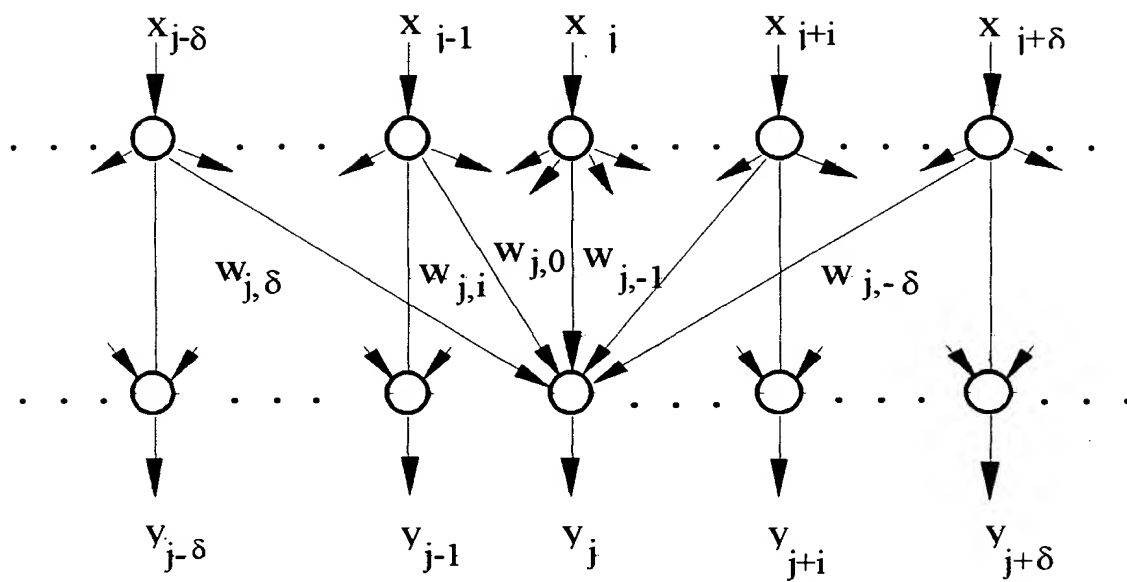


Fig. 4a

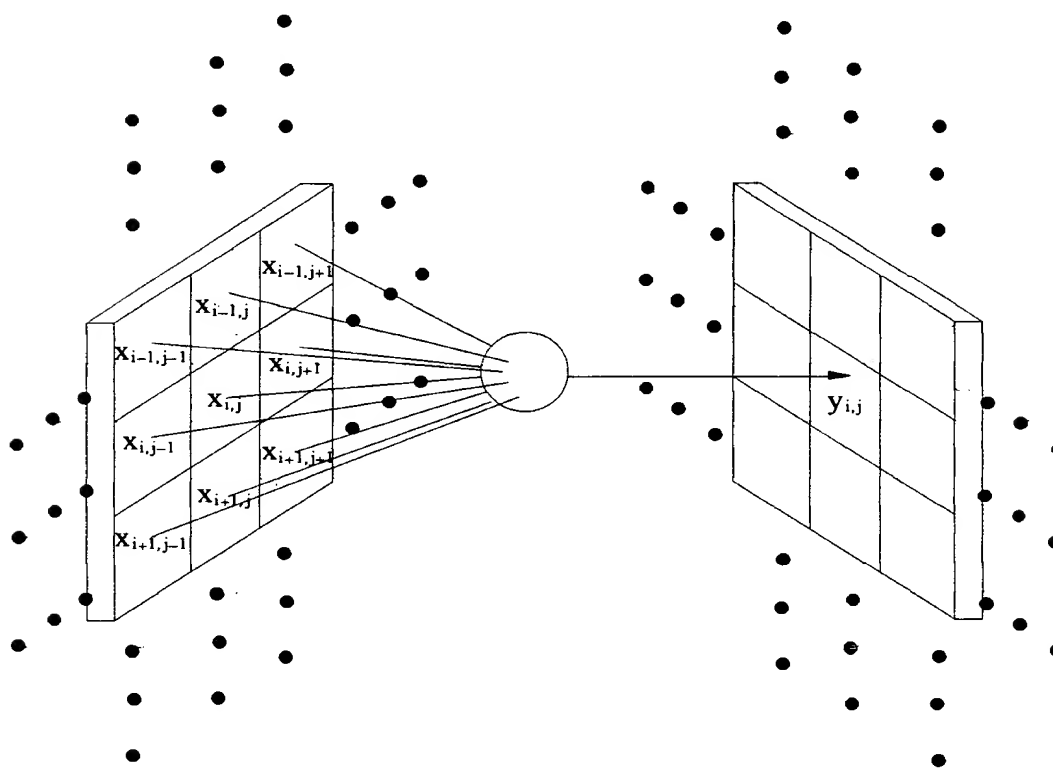


Fig. 4b

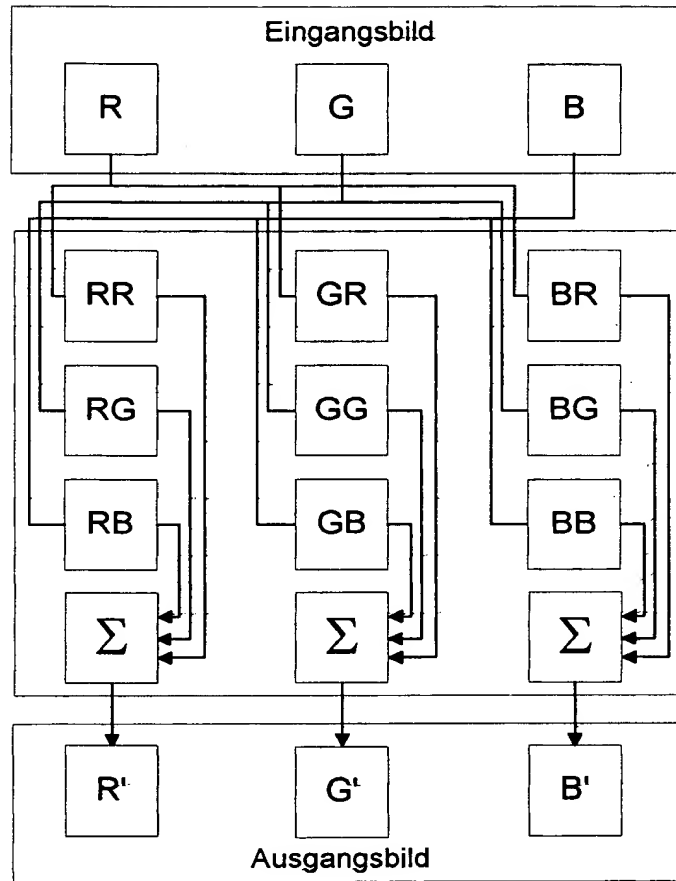


Fig. 4c

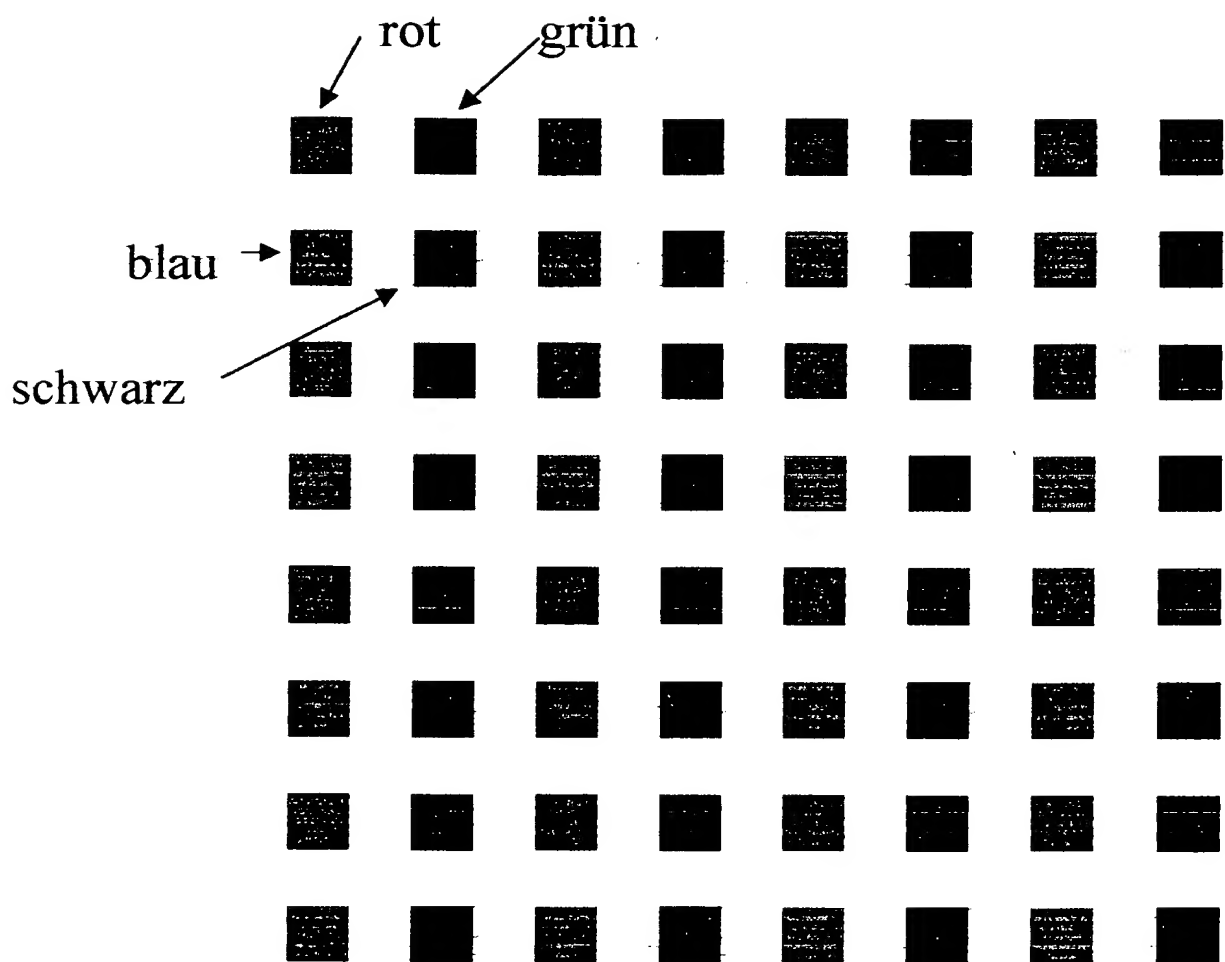


Fig. 5